

ALÜMİNYUM KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Fevzi BEDİR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ÖZET

Alüminyum metal anayapılı kompozitler (Al-MAK) ağırlıkça hafif, yüksek performansa sahip alüminyum merkezli malzeme sistemleri içinde yer almaktadır. MAK'ların mekanik özelliklerini artırmak amacı ile anayapı içerisine sürekli veya süreksiz yapıda fiberler veya parçacık takviyesi yapılabilir. Takviye miktarı hacimsel olarak en küçük miktarlardan %70 oranlara kadar çıkabilir. Al-MAK'ların özellikleri anayapının uygun kombinasyonuna, takviyeye ve farklı üretim yöntemlerine göre çeşitli endüstriyel talepleri karşılayabilir. Günümüzde farklı yöntemler kullanılarak birkaç çeşit Al-MAK'lar üretilmektedir. Son otuz yıldan bu yana, Al-MAK'ların fiziksel, termo-mekanik ve tribolojik özellikleri üzerine seramik katkı fazının etkisi ile ilgili birçok araştırma yapılmaktadır. Son birkaç yıldır da Al-MAK'lar uzay, savunma, otomotiv ve ısı gibi teknolojik yapı ve fonksiyonel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışmada Al-MAK'ların üretimi, mikroyapısal özellikleri ve endüstriyel uygulamaları üzerine genel bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Al-MAK, Al-MAK'ların üretim yöntemleri, mekanik özellikleri, endüstriyel uygulama alanları

ABSTRACT

Aluminium matrix composites (AMCs) refer to the class of light weight high performance aluminium centric material systems. The reinforcement in AMCs could be in the form of continuous/discontinuous fibers, whisker or particulates, in volume fractions ranging from a few percent to 70%. Properties of AMCs can be tailored to the demands of different industrial applications by suitable combinations of matrix, reinforcement and processing route. Presently several grades of AMCs are manufactured by different routes. Three decades of intensive research have provided a wealth of new scientific knowledge on the intrinsic and extrinsic effects of ceramic reinforcement vis-à-vis physical, mechanical, thermo-mechanical and tribological properties of AMCs. In the last few years, AMCs have been utilized in high-tech structural and functional applications including aerospace, defense, automotive, and thermal management areas. This paper presents an overview of AMC material systems on aspects relating to processing, microstructure, properties and applications.

Keywords: AMCs, production methods of AMCs, mechanical properties, industrial applications

Giriş

Kompozit genel olarak anayapı içerisinde dağılım gösteren anayapıdan farklı takviye fazı ile bütünleşmesinden meydana gelen bir malzeme sistemini oluşturmaktadır. Takviyenin özelliği, geometrisi, dağılımı ve farklı takviyelerin tane sınır özellikleri malzemenin farklı özellikler göstermesine neden olur[1-4]. Kompozit malzemeler genel olarak anayapının fiziksel veya kimyasal yapısına göre polimer esaslı, metal esaslı ve seramik esaslı kompozitler olmak üzere sınıflandırılırlar. Bu çalışma MAK'lar ve daha çok Al-MAK'lar üzerinde yoğunlaşmıştır. Al-MAK'larda anayapıyı ve sistemi oluşturan alüminyum/alüminyum alaşımıdır. Diğerleri ise alüminyum/alüminyum alaşımı içerisine

yerleştirilmiş yapıdır ve genel olarak SiC, Al₂O₃, B₄C ve TiC gibi seramik özellikli kuvvetlendirici faz olarak görev yapar. Kompozitin özelliği takviye fazının karakteristik özelliğine ve hacimsel katkı oranına göre değişir. Al-MAK'lar diğerlerine göre; yüksek mukavemet, iyileştirilmiş rijitlik, daha düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık özellikleri, kontrollü ısıl genleşme katsayısı, elektriksel özellikleri, iyileştirilmiş aşınma ve abrazyon özellikleri, özellikle kütle kontrolü ve iyileştirilmiş sönümlenme kapasite özellikleri açısından avantajlara sahiptir[5-8]. Belirtilen avantajları daha iyi kullanabilmek için değerlendirme yapılabilir. Örneğin saf alüminyum, hacimsel olarak %60 a kadar fiber takviyesi ile elastik modülü 70 GPa dan 240 GPa kadar artırılabilir. Diğer taraftan saf alüminyum içine hacimsel olarak %60

alümine fiber takviyesi malzemenin genleşme katsayısını 24 ppm/°C den 7 ppm/°C e düşürür. Benzer şekilde Al-%9Si-%20 SiC kompozitin aşınma direnci gri dökme demirin özelliğinden daha iyi olabilmektedir. Bütün bu örnekler göstermektedir ki alüminyum/alüminyum alaşımı uygun takviye fazları ile desteklendiğinde özellikleri iki veya üç kata kadar iyileştirilmektedir[9].

Al-MAK malzeme sistemi tek fazlı sistemlere göre üstün özelliklere sahip olmasından dolayı avantajını korumaktadır. Al-MAK'ların kullanımında performans, ekonomiklik ve çevre etkileri açısından önem arz etmektedir. Al-MAK'lar bazı uygulamalarda alüminyum alaşımlarının, demir alaşımlarının, titanyum alaşımlarının ve polimer esaslı kompozitlerin yerini tutacağı düşünülmektedir [10,11]. Geniş ölçekte Al-MAK'ların tek fazlı malzemelerin yerine tutması mühendislik sistemlerinin tekrar gözden geçirilmesi ağırlık ve hacimsel kazanım elde edilmesi nedeni ile gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmada Al-MAK'ların üretimi, mikroyapısı özellikleri ve endüstriyel uygulamaları üzerine bugüne kadar yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve yaptığımız çalışmalarla bütünleştirilmiştir.

Al-MAK Tipleri

Al-MAK'ler ihtiva ettiği takviyeye bağlı olarak parçacık takviyeli, whisker/süreksiz fiber takviyeli ve sürekli fiber takviyeli olarak sınıflandırılırlar. İlaveten tek tip filament takviyeli Al-MAK'ların üretim yöntemi diğerlerinden farklıdır.

Parçacık Takviyeli Al-MAK'lar

Bu tip kompozitler genel olarak eş eksenli ve nispeten homojen büyüklükteki seramik parçacıkları ihtiva etmektedir. Seramik parçacıklar genel olarak oksit, karbür veya bor bileşenleri olabilir ve yapısal ve aşınmaya dayanıklı uygulamalarda katkı miktarı %30 civarındadır. Genelde Al-MAK'lar toz metalürjisi ya da sıvı yöntemle üretilebilirler. Parçacık takviyeli Al-MAK'ların üretimi fiber takviyeli kompozitlere göre daha ekonomik olmasının yanında fiber takviyeli kompozitler

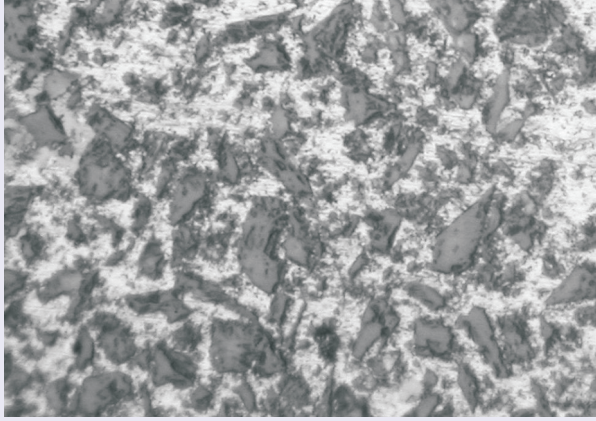
daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Kompozitler izotropik özellik gösterir ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme işlemleri gibi ikincil operasyonlara maruz kalabilirler [9]. Şekil 1a'da Al-SiC kompozitin farklı hacimsel takviye miktarındaki mikroyapı resimleri gösterilmiştir.

Whisker veya Süreksiz Fiber Takviyeli Al-MAK'lar

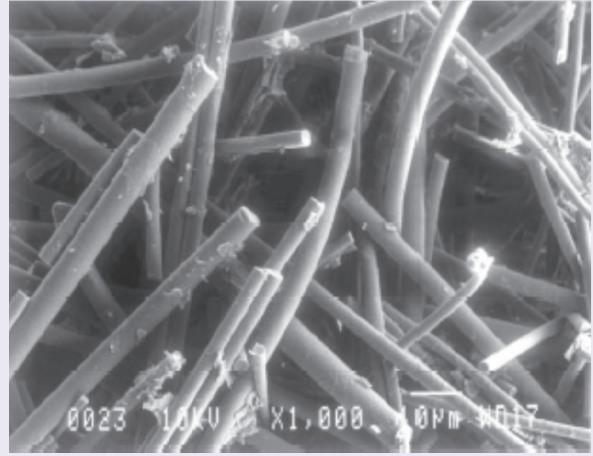
İhtiva ettiği katkı fazı en-boy oranı 5 den daha büyük ve anayapı içerisinde süreksiz bir yapı ihtiva eden kompozitlerdir. Alüminyum anayapı kısa alümine fiber ile kuvvetlendirilmiş ve genellikle pistonlarda kullanılan en önemli ve bilinen MAK'lardır. Bu tip kompozitler basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilirler. Şekil 1b kısa fiber takviyeli mikroyapıyı göstermektedir. Whisker takviyeli kompozitler veya PM yöntemi ile veya infiltrasyon yöntemi ile üretilirler. Whisker takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri parçacık takviyeli veya kısa fiber takviyeli kompozitlerle karşılaştırıldıklarında daha üstündür. Ancak whiskerin MAK'larda takviye olarak kullanımı son yıllarda sağlığa verdiği zarardan dolayı yavaşlamış ve böylece bu kompozitlerin ticari kullanımı sınırlandırılmıştır. Kısa fiber takviyeli MAK'lar sürekli fiber ve parçacık takviyeli MAK'lar arasında özelliklere sahiptir [9].

Sürekli Fiber Takviyeli Al-MAK

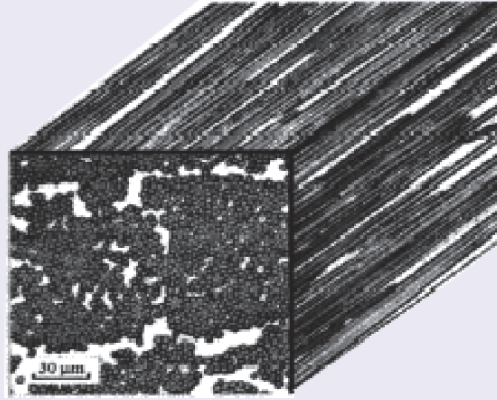
Bu tip takviyeler alümine, SiC, veya sürekli karbon fiber formunda bulunurlar. Fiber çapları 20 µm den daha küçüktür. Kompozit üretiminden önce bu fiberler paralel, dokunmuş veya örülmüş olabilir. %40 kadar hacimsel fiber ihtiva eden MAK'lar basınçlı infiltrasyon tekniği ile üretilirler. Son gelişmelerle %60 alümine fiber takviyeli sürekli fiber kompozitler geliştirilmiş ve 1500 MPa çekme mukavemeti ve 240 GPa elastik modüle sahiptirler [9]. Bu kompozitler basınçlı infiltrasyon yöntemi ile üretilmektedir. Şekil 1c sürekli fiber takviyeli MAK'leri göstermektedir.



(a) Al-%30SiC *750[12]



(b) Kısa fiber morfolojisi[13]



c) AA6061-%50Al₂O₃ fiber takviyeli kompozit numunenin optik mikroskoptaki üç boyutlu görünüşü[14].

Şekil 1. Farklı Morfolojiye Sahip Al-MAK'ların Mikroyapı Görünüşleri

Al-MAK'ların Üretim Yöntemleri

Endüstriyel ölçekte Al-MAK'ların üretim yöntemleri katı üretim yöntemi ve sıvı üretim yöntemi olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

Katı Üretim Yöntemi

Alüminyum alaşım tozu ile seramik esaslı kısa fiber/whisker parçacık karışımı MAK'lar için en bilinen üretim tekniğidir. Karışım kuru ve sıvı süspansiyon içinde yapılır. Karıştırma işlemini genellikle soğuk sıkıştırma, kutulama, gaz tahliyesi ve yüksek sıcaklıkta pekiştirme, HIP ve ekstrüzyon işlemlerinden oluşmaktadır. PM yöntemi ile üretilmiş Al-MAK'lar genellikle oksit parçacıkları ihtiva eder. Bu takviye fazının hacimsel oranı tozun geçmişine ve üretim yöntemine bağlı olarak 0.05

ile 0.5 arasında değişebilir. İnce oksit parçacıkları dispersiyon-sertleşmesi etkisi gösterebilir ve genellikle ısı işlem esnasında anayapı özelliği üzerinde kuvvetli etkiye sahiptir.

Sıvı Üretim Yöntemi

Karıştırma Döküm

Yöntem seramik parçacıkların sıvı alüminyum içine karıştırılması ve karışımın katılaşması sürecini ihtiva etmektedir. Burada en önemli olay toz parçacıkları ile sıvı alüminyum arasında iyi bir bağ oluşması yani sıvı fazın katı fazı ıslatabilmesidir. Bilinen en basit ve ticari olarak en çok kullanılan teknik vorteks veya karıştırma dökümdür. Vorteks tekniği bir karıştırıcı yardımı ile ergimiş metalin içine seramik parçacık ilavesi ile yapılmaktadır.

Bu yöntem ilk defa Surappa ve Roghati (1881) tarafından Hindistan Bilim Enstitüsünde geliştirilmiştir[9].

Mikroyapısal düzensizlik sıvı içerisinde ve katılaşma esnasında parçacıkların belirli bölgelerde yığılması ve toparlanması veya birikmesinden kaynaklanabilir. Kompozit içerisinde katkı fazının düzensiz dağılımı, katılaşma esnasında sıvı faz içinde hareketli seramik parçacıklar ile sıvı fazın arayüzey etkileşmesi sonucu bir problem teşkil edebilir. Genel olarak 5 ile 100 µm büyüklüğünde seramik parçacıkların sıvı alüminyum alaşımı içerisinde katılımı %30 kadar olmaktadır. Sıvı parçacık çamuru katılaşma tamamlanmadan önce direk olarak kalıba dökülür veya çamur karışımı kütük veya çubuk şeklinde katılaştırılarak daha sonra çamur formuna gelinceye kadar ısıtılır ve sonraki işlemlerde tekrar kalıplanarak kullanılabilir. Bu yöntem mikron altı çok küçük seramik parçacıkların üretiminde uygun değildir.

İnfiltrasyon Yöntemi

Al-MAK'ları üretmek için sıvı alüminyum alaşımı sürekli fiberlerin/kısa fiberlerin veya parçacıkların arasındaki boşluklara infiltrate (emdirme) edilir. Katkı fazın karakterine ve hacimsel oranına bağlı olarak vakum veya basınç altında kompozite infiltrate edilir. Hacimsel olarak %10 dan %70 kadar katkı fazlı Al-MAK'lar farklı infiltrasyon yöntemi kullanılarak üretilebilirler. Parçanın bütünlüğünü sağlamak için bağlayıcı olarak silika ve alümine esaslı karışımların kullanılması gereklidir. İnfiltrasyon yöntemi ile üretilen Al-MAK'larda katkı fazının içinde bir miktar gözenek ve dağılımları genellikle dikkat çeker. Yöntem, parçacık takviyeli, sürekli fiberli, kısa fiberli Al-MAK'ların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

Püskürtme Yöntemi (PY)

Katkı fazlarının enjekte edilerek Al-MAK'ların üretilmesinde PY oldukça geniş bir şekilde araştırılmıştır. Ancak bu yolla üretim seramik parçacıkların homojen olmayan dağılımını göstermektedir. Gözenek, genellikle

%5-10 civarındadır. Bu tip üretimde kompozitin tamamen güçlendirilmesi bir sonraki aşamada sağlanmaktadır. PY genellikle sürekli fiber takviyeli Al-MAK'ların üretimine uygundur. Fiber arası mesafeyi kontrol etmek için fiberler silindirik bir çubuk etrafına sarılır ve ana metal bu fiberlerin üzerine püskürtülür. Böylece tek tip kompozit oluşturulur. Kütle kompozitler tek tip kompozitlerin sıcak preslenmesi ile oluşturulur. Fiberin hacimsel oranı ve dağılımı fiber açıklığı ve tabakalarının sayısına göre kontrol edilebilir. Al-MAK'lar püskürtme yöntemle üretimi, karıştırmalı döküm ile PM yöntemi arasında bir maliyette olup nispeten pahalı bir yöntem değildir.

Seramik Katkı Fazını Al-MAK'ların Davranışları Üzerine Etkisi

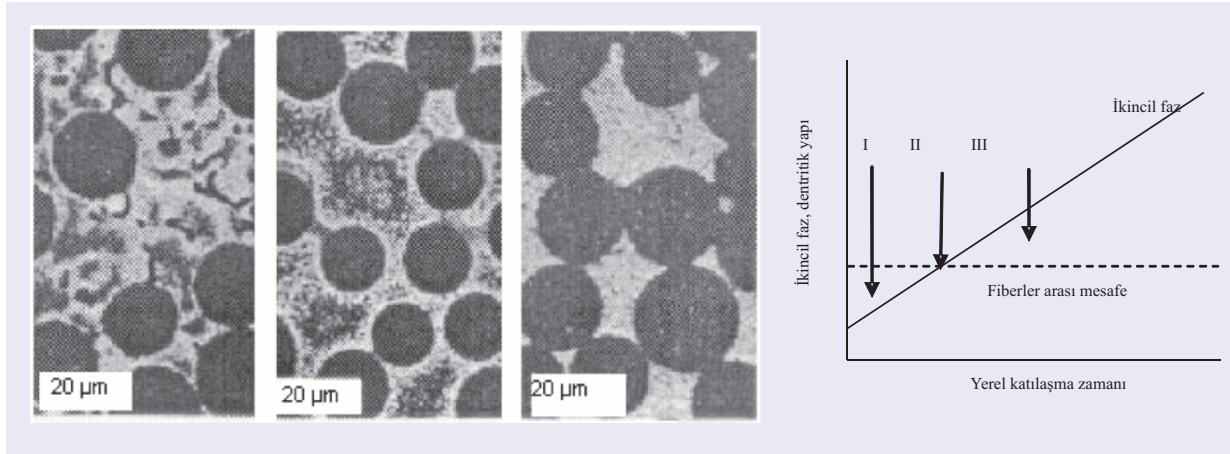
%10 ve daha fazla seramik katkı fazı Al-MAK'ların davranışlarını üretim aşamasında, ısıl işlem aşamasında ve daha sonra mamul olarak kullanımında tamamen değiştirebilir. Bu değişim kompozitin hem mikroyapısı hem de yüzeysel ve dış yapısı ile ilgili özellikleri ihtiva eder.

Mikroyapısı ile İlgili Etkiler

Mikroyapısal değişimler, ısıl işlem karakteristikleri ve ısıl gerilmeleri ihtiva eder. Bu değişimler esas itibari ile alüminyum alaşımlarının fiziksel, mekanik ve tribolojik sınırlarını değiştirir ve genişletir. Seramik parçacıklar, kompozitin içi ile ilgili göze çarpan etkileri şu şekilde özetlenebilir.

Al-MAK'ların Katılaşması

Seramik parçacıkların mevcudiyeti alüminyum alaşımının katılaşma davranışlarını değiştirebilir. Seramik katkı fazı erimiş sıvının ve ısının yayınmasında, sıvı eriyiğin heterojen çekirdeklenmesini katalize etmede, sıvı eriyiğin akış yayılımını sınırlanmada ve katı-sıvı arayüzey morfolojik kararsızlığın oluşmasında bir set gibi görev yapabilir (Şekil 2).



Şekil 2. Al-4.5Cu-Alümine Fiber Kompozitin Fiberler Arası Bölgede Mikroyapı Oluşumu. Birincil Faz Morfolojisi ve İkincil Fazın Dağılımı Fiberler Arası Mesafeye Bağlıdır. Mikroyapılar Grafik Olarak Üç Durum da Gösterilmektedir.

Seramik parçacıkların üzerinde oluşan birincil fazın heterojen çekirdeklenmesi anayapı tane büyüklüğünü azalttığı iyi bilinir. Ancak tane büyüklükleri parçacık veya fiberin çapından daha büyüktür ve bu durum döküm alüminyum kompozitlerde gözlemlenmektedir. Anayapı tane büyüklüğü katkı parçacıklarından büyük olması gösterir ki fiberler katılma esnasında birincil faz çekirdeklenmesi oluşturmazlar. Al-4.5Cu'nun tane büyüklüğü SiC veya alümine fiber tarafından etkilenmez. Ancak, gözenekli yapıya sahip TiC kompozitin sinterlenmesi anayapının tane büyüklüğünü belirli istikamette ve büyüklükte sınırlar. Benzer şekilde birincil fazın heterojen çekirdeklenmesi alümine katılı Al-Cu-Ti alaşımında gözlenmektedir[15].

Seramik Fazın Alüminyum Alaşımının Yaşlanma Sertleşmesi Davranışına Etkisi

Alüminyum alaşımlarının yaşlanma sertleşmesi davranışı genel olarak katkı fazı ile değiştirilebilir. Bu değişim anayapıya, parçacık büyüklüğüne, morfolojiye, katkı fazının hacimsel oranına ve üretim yöntemine bağlıdır. Bu değişimler şu şekilde sıralanabilir.

- Al-Cu-Mg anayapılı kompozitler takviyesiz alaşımlara göre daha hızlı yaşlanma gösterirler.
- Çökeltme sıcaklığı hacimsel katkı fazı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir.

- TM Al-Cu-SiC_p kompozitin oda sıcaklığındaki yaşlanma davranışı döküm veya ekstrüze kompozite göre oldukça farklıdır.
- 6061 alüminyum alaşımının yaşlanma karakteri fiberlerin varlığına göre önemli ölçüde değişir.
- TiC parçacıkları 7075 Al alaşımlarının yaşlanma kinetiğini geciktirirler.

Seramik fazın birleşmesinden kaynaklanan Al alaşımlarının yaşlanma karakterindeki bu değişimler bir dereceye kadar dislokasyon yoğunluğundan kaynaklanmaktadır. Seramik parçacık ile Al alaşım anayapı arasındaki genleşme katsayısının uyumsuzluğu dislokasyon yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Artan bu yoğunluk ve sonrasındaki al alaşımının yaşlanma davranışındaki değişimler katkı fazının kompozitin iç yapısı ile ilgili etkisi açısından önemlidir[16-18]

Artık termal Gerilmeler

Al-MAK'ler genellikle 500°C den daha fazla üretim sıcaklıklarına maruz kalırlar ve soğuma esnasında büyük ısıl gerilmelere maruz kalırlar. Isıl gerilmelerin büyüklüğü katkı fazına, hacimsel oranına ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin, Al-%30SiC_p kompozitlerde ısıl

gerilmeler 200 MPa dan daha büyüktür. Al-MAK'ların mekanik özellikleri ısı gerilmelerden tamamıyla etkilenir. Katkı fazının neden olduğu artık gerilmeler kompozitin yorulma ve çatlama özelliklerini etkiler.

Katkı Fazının Dışyapıya Etkileri

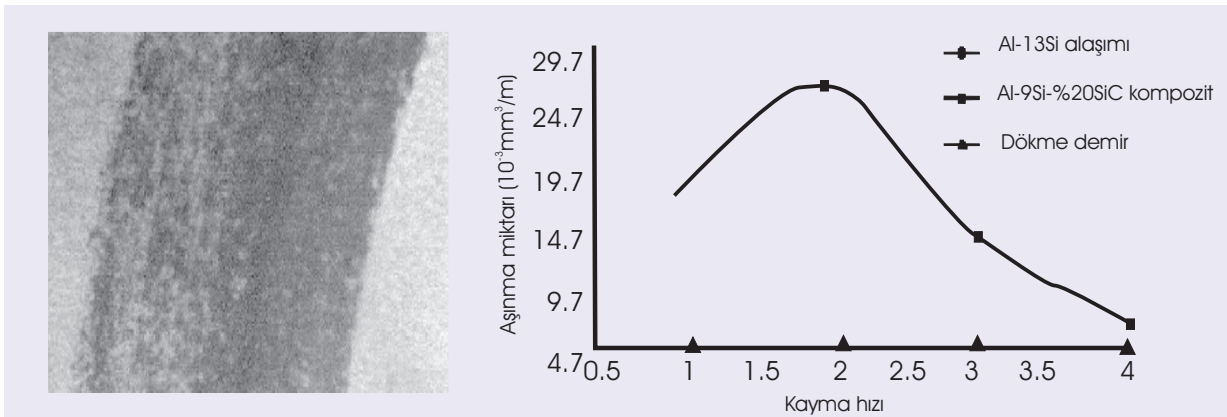
Pin-on disk deney sistemi ile sertleştirilmiş çeliğe karşı yapılan deneylerde kompozitin aşınma direncini katkı fazı ile önemli ölçüde artırır. Bu aynı zamanda seramik fazın mikroyapıya etkileri ile de ilgilidir. Son yıllarda SiC_p parçacıkların dış etkisi Al-MAK'dan mamul fren pabuç-fren disk çifti için faydalı olarak kullanılır. Al-MAK' fren pabucu fren diski üzerinde kayarken temas bölgelerinde ikili tribolojik ara yüzey tabakaları oluştururlar. Böylece ara yüzey tabakaları diskin aşınma direncini daha fazla artırır. İkili tabaka oksit karışımı ihtiva ediyorsa kayma esnasında pabuçtan Al-MAK fren diskine doğru malzeme transferi meydana gelir. Malzeme transferi ve tribolojik tabaka çitlerinin oluşumu SiC_p etkisi ile oluşmaktadır. Böylece tribolojik tabaka oluşumu SiC_p'ün dışyapıya etkisi olmaktadır. Şekil 3a'da otomobil fren pabucunun disk yüzeyi ile oluşturduğu tribolojik tabaka çifti görülmektedir. Şekil 3b ise Al-MAK', Al-Si alaşımı ve dökme demirin fren diski olarak çizilmiş aşınma oranları görülmektedir. Şekil 3a ve b, ulaşım sistemlerinde hafif fren disk malzemesi olarak Al-MAK'ların kullanımında önemli bir potansiyel olduğunu gösterir [9].

Al-MAK'ların Endüstriyel Uygulamaları

Al-MAK'lar birçok uygulama alanlarında yüksek teknolojik malzemeler olarak kullanılmaktadır. Al-MAK'lar kullanımda, ömür, yüksek verimlilik, enerji kazanımı, düşük bakım maliyeti, düşük gürültü seviyesi, çevreye daha az emisyon ve kirlilik, gibi faydalar sağlar. Al-MAK'ların mühendislik uygulamalarda canlılığını korumaktadır. Whisker/parçacık/kısa fiber/sürekli fiber gibi farklı takviye maddelerine sahip olan katı veya sıvı üretim yöntemi ile üretilen Al-MAK'lar birçok pratik uygulamalar için bir kullanılmaya uygundur. Farklı tip Al-MAK'ların birkaç yeni ve canlı uygulamaları şu şekilde verilebilir.

Parçacık Katkılı Al-MAK'lar

Endüstriyel kullanımda parçacık katkı Al-MAK'lar büyük bir miktarı oluşturur. Parçacık katkı Al-MAK'lar endüstriyel seviyede TM karıştırma döküm, ergitme infiltrasyon, püskürtme, doğal üretim yöntemleri ile üretilmektedir. SiC, Al₂O₃, TiC, TiB₂, B₄C seramik parçacıkları katkı faz olarak kullanılır. Parçacık katkı Al-MAK'lar otomotiv, uzay, mekanik ve ısı parçalarda başarılı olarak kullanılmaktadır. Parçacık katkı Al-MAK fren rotorları ve kampanalar döküm yöntemi ile üretilmektedir. Al-Mg ve Al-Si anayapılı kompozitler hem SiC hem de Al₂O₃ parçacık katkısı ile en az %20 hacimsel oranda takviye edilir. Birçok otomobilin fren elemanlarında kullanılmaktadır (Şekil 4)[19].



Şekil 3. Al-MAK Disk ile Fren Pabucu Arasında Oluşan Tribolojik Yağlama Çifti, Fren Pabucuna Karşılık Takviyesiz Al Alaşımı, Al-SiC Kompozit, Dökme Demir

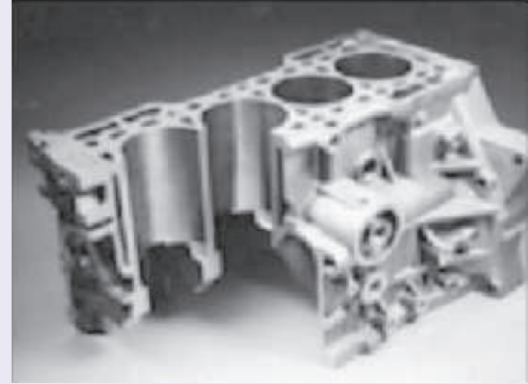


Şekil 4. Al-MAK'lardan Mamul Otomobil Fren Elemanları[20]

Parçacık katkılı Al-MAK'lar helikopterlerin pervane kanat kollarında, uçuş kontrol hidrolik manifoldlar %40 SiC katkılı kompozitlerde üretilmekte ve başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. En büyük taneli ve hacimsel katkılı kompozitler tren ve arabaların fren sistemlerinde kullanılmaktadır. Al-MAK fren diskleri genellikle Avrupa demir yollarında kullanılmaktadır. Amerika'da ise bazı özel yolcu arabalarında kullanılmaktadır. Avrupa'nın en büyük otomobil üretici firması 2004'e kadar Al-MAK' disk frenler sürmeyi planlamaktadır. Potansiyel olarak otomobil uygulamalarında valflar, krank mili, dişli parçaları ve süspansiyon kolları bulunmaktadır.

Whisker ve Kısa fiber Takviyeli Al-MAK'lar

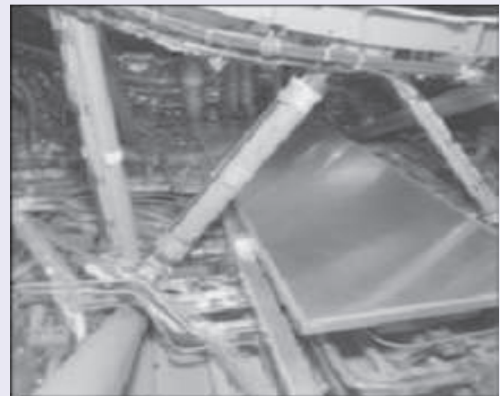
Seramik whiskerlerin elle taşınması ile ilgili olarak çok büyük sağlık riskleri oluşturduğundan bu tip kompozitlerin üretimini sınırlamıştır. Ancak güvenli ölçümlerde SiC whisker'li Al-MAK'lar gelişmiş askeri tanklarda ayak paleti olarak kullanılmakta ve üretilmektedir. Bu şekilde tankın ağırlığını azaltmada önemli rol oynamaktadır. Kısa fiber takviyeli Al-MAK'lar piston ve silindir uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 5'te Al-MAK kompozit silindir gömleği karbon ve Al_2O_3 fiber takviyeleri erimiş Al anayapı içerisine emdirilerek orta basınçlı döküm yöntemi üretilmektedir.



Şekil 5. Fiber Takviyeli Al-MAK Silindir Gömleği[20]

Sürekli Fiber Takviyeli Al-MAK'lar

Karbon fiber takviyeli Al-MAK'lar Hubble Uzay Teleskopunun anten dalga kılavuzu olarak kullanılmaktadır. Burada kompozit yüksek boyutsal hassasiyet, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği göstermektedir. 6061 Al-Boron fiber kompozitler uzay mekiğinin ana kargo bölümlerde destek olarak kullanılmaktadır (Şekil6).



Şekil 6. Al-Boron Fiber Takviyeli Al-MAK Destekler[20]

Hatta son zamanlarda alümine fiber takviyeli Al-MAK'lar geliştirmiştir. Fiber takviyeli Al-MAK'lar çelikle karşılaştırdıklarında yoğunluğu yarısından az olmasına rağmen eşit dayanımda kompozitler üretilmektedir. Hatta mukavemeti 300°C ve üstünde çelikle eşit olmaktadır. Kompozitler çeliğe göre dört kat ve saf alüminyumun göre yarı elektrik iletkenlik özelliğine sahiptir.

SONUÇ

Alüminyum kompozitler ağırlıkça hafif olmasının yanında yüksek performansla sahip olmasından dolayı son yıllarda endüstriyel uygulamalarda ilgi çekmektedir. Yüksek teknolojik malzeme olarak kullanılan Al-MAK'lar ömür, yüksek verimlilik, enerji kazanımı düşük bakım maliyeti, düşük gürültü seviyesi, çevreye daha az emisyon ve kirlilik, gibi faydalar sağlar. Bu nedenle Al-MAK'lar mühendislik uygulamalarda canlılığını korumaktadır.

Al-MAK'lar ihtiva ettiği takviyeye bağlı olarak karakteristik özellikleri değişmektedir. Genelde Al-MAK'lar toz metalurjisi ya da sıvı yöntemle üretilebilirler. Parçacık takviyeli Al-MAK'ların üretimi fiber takviyeli kompozitlere göre daha ekonomik olmasının yanında fiber takviyeli kompozitler daha üstün mekanik özelliklere sahiptir. Fiber takviyeli Al-MAK'lar çelikle karşılaştırdıklarında yoğunluğu yarısından az olmasına rağmen eşit dayanımda kompozitler üretilmektedir. Hatta mukavemeti 300°C ve üstünde çelikle eşit olmaktadır. Kompozitler izotropik özellik gösterir ve ekstrüzyon, haddeleme ve dövme işlemleri gibi ikincil operasyonlara maruz kalabilirler.

KAYNAKÇA

1. **Bedir, F., Ögel, B.**, 2000, "TiC ve SiC Katkılı Kompozitlerin Azot Atmosferi Altında Sıcak Preslenmesi", Uluslararası Met. Malz. Kong. Bildiri Kitabı, c3, 1713, İstanbul.
2. **ASM**, Metal Handbook, Vol. 2 (1992).
3. **T.W. Clyne and P.J. Withers**, An Introduction to Metal Matrix Composites, Cambridge University Press (1995) pp. 459-470.
4. **C.G. Kang, J.H. Lee, S.W. Youn, J.K. Oh**, "An Estimation of Three-Dimensional Finite Element Crystal Geometry Model For The Strength Prediction of Particle-Reinforced Metal Matrix

Composites", Journal of Materials Processing Technology Volume 166, Issue 2, (2005), Pages 173-182.

5. **Lloyd DJ**. Particle Reinforced Aluminium and Magnesium Matrix Composites. International Materials Reviews 1994;39(1):1-23.
6. **Prasad SV, Rohatgi PK**. Tribological Properties of Al Alloy Particle Composite. J. Metall 1987;39(11):22-26.
7. **Pan YM, Fine ME, Chang HS**. Wear Mechanism of Aluminium Based Metal Matrix Composite Under Rolling And Sliding Contraction In Technology of Composite Materials. In: Rothagi PK, Ian PJB, Yune CS Editors, ASM International 1990;93-101.
8. **F.Bedir, B.Ögel**, "SiC Katkılı Al Kompozitlerin Sertlik, Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi", 11. International Conference on Machine Design and Production, (UMTİK 2004), Conference proceedings, 979-988, 2004. Antalya-TURKEY
9. **K Surappa**, "Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities", Sadhana, Academy Proceedings in Engineering Sciences, Printed in India, Vol. 28, Parts 1 & 2, February/April 2003, pp. 319-334.
10. **Harris SJ**. Developments in Particulate and Short Fibre Composites in New Light Alloys. AGARD Lecture Series 1990;144:1-21.
11. **Christman T, Needleman A, Suresh S**. An Experimental and Numerical Study of Deformation in Metal-Ceramic Composites. Acta Metall 1989;37:3029-3050.
12. **Köksal, F.**, "Al-Cu-SiC ve Al-Cu-B4C Kompozitlerin Sıcak Presleme Yöntemi İle Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması", Danışman: F.Bedir., S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
13. **H.X Peng, Z.Fan., D.S.Mudher, J.R.G.Evans.**, "Microstructures and Mechanical Properties Engineered Short Fibre Reinforced Aluminium Matrix Composites", Material Science and Engineering, A335(2002)207-216.
14. **C.M.Cady, G.T.Gray III**, "Influence of Strain Rate on the Deformation and Fracture Response of a 6061-T6 Al-50 vol.% Al₂O₃ Continuous-Reinforced Composite", Material Science and Engineering, A298,(2001), 56-62.
15. **Asthana, R.**, "(1998), Solidification Processing of Reinforced Metal (Trans Tech. Publ.).
16. **Surappa, M.K., Rohatgi, P.K.**, "Preparation and Properties of Aluminium Alloy Ceramic Particle Composites, Journal of Material Science, 1981, v 16, pp983-993.
17. **Salvador MD, Amigó V, Martínez N, Busquets DJ**. Microstructure and mechanical behaviour of AlSiMg alloys reinforced with TiAl Intermetallics. Journal of Materials Processing Technology 2003;143-144:605-611.
18. **Das T, Munroe PR**, Bandyopadhyay S. Effect of Al₂O₃ Particulates on the Precipitation Behaviour of 6061 Aluminium-Matrix Composites. Journal of Materials Science 1996;31(20):5351-5361.
19. ASM Handbook, v21, Composites, ASM International, Printed in USA, 1992.
20. Assessment of Metal Matrix Composites, Applications, <http://mmc-assess.tuwien.ac.at>